

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Simulační model síťového grafu

Simulation Model of Network Graph

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Student:

Martin Kašný

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Institut dopravy

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Kašný**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3708R028 Technologie dopravy
Specializace: 20 Pozemní doprava
Téma: Simulační model síťového grafu
Simulation Model of Network Graph

Zásady pro vypracování:

Osnova práce:

1. Úvod.
2. Definování modelovaného problému.
3. Návrh simulačního experimentu.
4. Provedené experimenty a jejich vyhodnocení.
5. Validace simulačních výsledků analytickým výpočtem.
6. Závěr.

Rozsah práce: min. 30 stran textu mimo přílohy

Cíl práce: V prostředí simulačního software Witness sestavit simulační model vybraného síťového grafu, výsledky dosažené simulací ověřit analytickým výpočtem pomocí vhodné metody.

Seznam doporučené odborné literatury:

DANĚK, J.: *Technologie dopravy I.* Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999. 113 s. ISBN 80-7078-659-0.
WALTER, J. - VEJMOLA, S. - FIALA, P.: *Aplikace metod síťové analýzy v řízení a plánování.* Praha: SNTL Praha, 1989. 288 s. ISBN 80-03-00101-3.
Manuály k simulačnímu software Witness.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michal Dorda**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



doc. Ing. Vladimír Smrž, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo –bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Martin Kašný

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Jasanová 96
Štěpánkovice 747 28

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KAŠNÝ, M. Simulační model síťového grafu: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2010, 51s. Vedoucí práce: Ing. Dorda, M.

Bakalářská práce se zabývá modelováním síťového grafu procesu rozřadování souprav cílových vlaků ve vjezdové skupině kolejí seřadovací stanice. Simulační model je validován pomocí analytického výpočtu metodou kritické cesty. Výstupem práce je funkční obecný model studovaného procesu. S modelem byly dále prováděny experimenty za účelem zjistit, za jakých podmínek může dojít ke změně kritické cesty. Dále byly provedeny experimenty za účelem zjištění, jaký vliv má počet ložených vozů, resp. počet odvěsů soupravy na celkovou dobu trvání projektu.

ANNOTATION OF BACHELOR THEIS

KAŠNÝ, M. The Simulation Model of the Network Graph. Bachelor Theis. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transport, 2010, 51 pgs, Head of the Thesis: Ing. Dorda, M.

The subject of the present bachelor thesis is the simulation of the network graph designed for the process of the target train sets shunting within the entry group of tracks in the marshalling yard. The simulation model is validated by the analytical calculation using the critical path method. The result of the present thesis is the general operating model of the surveyed process. Consequently the model was the subject of the experimentation in order to identify under which conditions the critical path could be modified. Further were made the experiments in order to determine the influence of the number of wagons under load, or respectively the number of the separately moved wagon groups, in the train set to the total duration of the project.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A SYMBOLŮ	8
1 ÚVOD.....	9
2 DEFINOVÁNÍ MODELOVANÉHO PROBLÉMU	10
2.1 Analýza kritické cesty	10
2.2 Časová analýza	11
2.2.1 Konstrukční prvky sítě.....	11
2.2.2 Indexování uzlů a označování činností.....	13
2.2.3 Ohodnocení činnosti	13
2.2.4 Výpočet na síti	13
2.3 Technologické postupy obsluhy souprav vozidel cílových vlaků ve vlakových stanicích (vjezdová skupina kolejí).....	17
2.3.1 Obsluha ve vjezdové skupině kolejí	17
2.3.2 Ostrava - Právě nádraží	23
2.3.3 Analýza výkazu vozidel	24
3 NÁVRH SIMULAČNÍHO EXPERIMENTU	26
3.1 Sestrojení simulačního modelu	30
3.2 Nastavení jednotlivých strojů (činností) pro zápis ZM_{ij} a KM_{ij}	31
3.3 Nastavení jednotlivých strojů (činností) pro zápis ZP_{ij} a KP_{ij}	38
4 VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU ANALYTICKÝM VÝPOČTEM	40
5 PROVEDENÉ EXPERIMENTY A JEJICH VYHODNOCENÍ	43
6 ZÁVĚR	49
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50
8 SEZNAM PŘÍLOH.....	51

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ A SYMBOLŮ

CPM Metoda kritické cesty (Critical Path Method)

ČD České dráhy

OMH Ostrava Mariánské Hory

OP Ostrava Právě nádraží

PL Průvodní listiny

TRZ Tranzitér

VD Vlaková dokumentace

VPK Vozová a přepravní kancelář

1 ÚVOD

Předložená bakalářská práce se zabývá simulací jednotlivých úkonů technologického postupu obsluhy cílových vlaků v seřaďovacích stanicích ve vjezdové skupině kolejí a hledáním časových rezerv jednotlivých úkonů. Cílem práce je sestavit simulační model síťového grafu a výsledky dosažené simulací ověřit analytickým výpočtem pomocí metody kritické cesty.

Při řešení bude použito modelovacího programu, určeného k modelování a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických procesů systému. Konkrétně byl použit program Witness.

První část této bakalářské práce má za úkol seznámit se s matematickou metodou, která byla použita pro vyhledání kritické cesty v síťovém grafu. Konkrétně se jedná o Metodu kritické cesty, jejíž výstupem jsou časové údaje potřebné pro výpočet časových rezerv a určení kritické cesty. Dále je vysvětlen způsob a pravidla sestavování síťových grafů.

V další části bakalářské práce je vysvětlen technologický proces rozřaďování souprav cílových vlaků ve vlakových stanicích ve vjezdové skupině kolejí, který slouží jako podklad k vytvoření daného síťového grafu. Nechybí ani popis stanice Ostrava - Právě nádraží.

Druhá část této práce je zaměřena na popis tvorby simulačního modelu v simulačním prostředí programu Witness a nastavení jednotlivých součástí modelu. V práci je podrobně popsán postup tvorby modelu. Dále je popsán způsob provedení validace (porovnáním výsledků získaných simulací a výsledků získaných analytickým výpočtem) a experimenty, které byly na modelu prováděny ve snaze změnit kritickou cestu projektu.

2 DEFINOVÁNÍ MODELOVANÉHO PROBLÉMU

Obsahem této kapitoly je seznámit se s matematickou metodou, která bude použita pro vyhledání kritické cesty v síťovém grafu – metodou kritické cesty a s technologickým procesem rozřadování souprav cílových vlaků ve vjezdové skupině kolejí seřadovací stanice, který bude modelován pomocí síťového grafu.

2.1 Analýza kritické cesty

Tato kapitola byla zpracována podle zdroje [2]

Metoda kritické cesty (anglicky Critical Path Method, zkráceno CPM) patří mezi základní deterministické metody síťové analýzy. Jejím cílem je stanovení doby trvání projektu na základě délky tzv. kritické cesty. CPM umožňuje usnadnit efektivní časovou koordinaci dílčích, vzájemně na sebe navazujících činností v rámci projektu. Je to jeden z důležitých nástrojů řízení projektů.

Tato metoda byla vyvinuta v 50. letech minulého století jako společný projekt dvou společností: DuPont Corporation a Remington Rand Corporation pro řízení projektů správy továren. V současné době se všeobecně používá pro libovolné typy projektů, vč. výstaveb, softwarového vývoje, výzkumných projektů, vývoje výrobků a mnoha inženýrských aplikací. Obecně lze tuto metodu aplikovat na plánování jakéhokoli projektu se vzájemně provázanými a závislými činnostmi.

Kritická cesta je definována jako časově nejdelší možná cesta z počátečního bodu grafu do koncového bodu grafu. Každý projekt má minimálně jednu kritickou cestu. Čas dokončení posledního úkolu na kritické cestě je zároveň časem dokončení projektu.

Má-li mít hledání kritické cesty v síti úspěch, musí graf (síť) splňovat nezbytné podmínky. Síť musí být konečná, souvislá a acyklická. Acyklická síť je taková síť, která neobsahuje cyklus, v němž by bylo možné putovat v kruhu do nekonečna, a tím by se prodlužovala délka kritické cesty nad všechny meze.

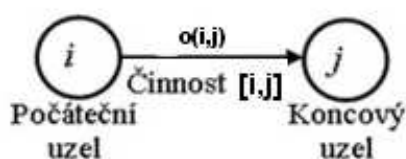
2.2 Časová analýza

Z hlediska časové analýzy projektu nás kromě dat zahájení a ukončení jednotlivých činností zajímá především to, zda je daná činnost kritická či nikoliv a pokud není, jak velká je její volná a celková časová rezerva. **Kritická činnost** je taková činnost, u níž je celková časová rezerva rovna nule. **Celková časová rezerva** určuje počet časových jednotek, o který je možné dobu trvání činnosti prodloužit nebo její nejdříve možný začátek oddálit, aniž se tím ovlivní termín ukončení celého projektu.

2.2.1 Konstrukční prvky sítě

Základními konstrukčními prvky sítě pro analýzu kritické cesty jsou uzly a hrany, pomocí kterých je možné znázornit celý soubor dílčích činností a jejich vzájemných časových návazností v rámci systému. Nejčastější způsob takového znázornění je ten, že každé hraně sítě je přiřazena jedna dílčí činnost projektu. Uzly pak představují body na časové ose, v nichž činnosti začínají a končí. Existuje i opačný postup, u kterého jsou činnosti přiřazovány k uzlům sítě a hrany zobrazují bezprostřední věcné vazby mezi nimi. Tento způsob je však méně obvyklý.

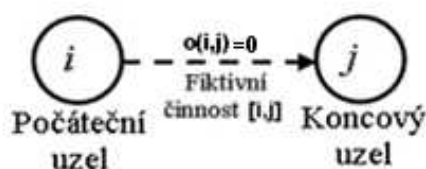
- Činnosti představují určité dílčí práce, které se provádějí, a přitom současně plyne čas, jehož velikost odpovídá době trvání činnosti.
- Hrana bude ohodnocena touto dobou trvání činnosti, jejíž hodnota je deterministická.
- Činnosti probíhají od svého počátku ke konci v čase pouze jedním směrem a nikoli obráceně.
- Každá činnost začíná v určitém uzlu, který nazýváme počáteční uzel činnosti, a končí v uzlu, který nazýváme koncový uzel činnosti. Tyto dva uzly jsou spojeny hranou, která představuje danou činnost.
- Síť se zakresluje zleva doprava, tak jak je to při znázorňování času obvyklé. Jinak se na způsob zakreslování hran a uzlů nekladou žádné speciální požadavky.



Obr. č. 2.1: Ukázka znázornění činnosti dvěma vrcholy a orientovanou hranou

Fiktivní činnosti

Kterákoli skutečná činnost, probíhající proces nebo operace potřebuje ke svému zrealizování určitý časový interval. To znamená, že v síti by měly mít všechny hrany kladné ohodnocení dané dobou trvání konkrétních činností. V některých případech je potřeba vyjádřit vztah bezprostřední časové návaznosti s tím, že k tomu nemáme odpovídající činnost. Pomůžeme si tedy použitím fiktivní hrany, která nemá žádnou dobu trvání, nespotřebovává žádné zdroje a ve skutečnosti neexistuje. Pro přehlednější odlišení fiktivních hran od ostatních v síti se nejčastěji používá znázornění přerušovanými čarami.



Obr. č. 2.2: Ukázka znázornění fiktivní činnosti dvěma vrcholy a orientovanou hranou

Inverzní zobrazení a acykličnost

Nejčastější je zobrazování navazujících činností způsobem hrana = činnost, existuje však také opačné, tzv. inverzní zobrazení, u něhož činnost představuje uzel. U inverzního zobrazení síťového grafu se nevyskytují fiktivní hrany. Počet uzlů je roven počtu reálných činností. Mezi těmito uzly se pak zakreslí pouze požadované vazby. Ostatní vazby se nezakreslí a tím se ani nemohou projevit. Inverzní zobrazení grafu je potřeba pro simulaci v programu Witness, jelikož klasické zobrazení je pro simulaci v software Witness nevyhovující.

2.2.2 Indexování uzlů a označování činností

K jednoznačnému popisu sítě je nezbytné jednoznačně označit uzly. Při splnění této podmínky je sice síť jednoznačně definována, ale je-li takové značení libovolné, nedává to dobrý předpoklad ani pro přehlednost a případné úpravy sítě, ani pro nejracionálnější provádění výpočtů. Pro přehlednost a racionálnější možnost provádění výpočtů se u sítě vyžaduje, aby označení počátečního uzlu činnosti bylo nižší než označení koncového uzlu činnosti, aby tedy činnost směřovala od uzlu s nižším ohodnocením k uzlu s vyšším ohodnocením.

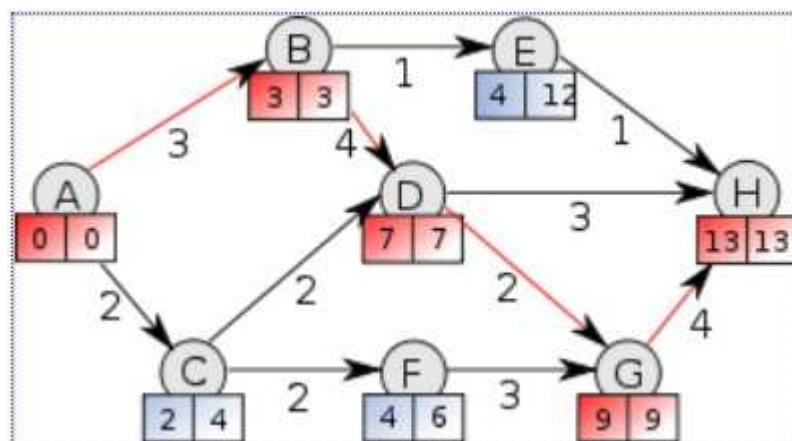
Označování činností je méně složité než označování uzlů. Za předpokladu, že značení uzlů je v pořádku, se každá činnost označuje dvojicí čísel odpovídající indexům uzlů, a to v pořadí index počátečního uzlu a index koncového uzlu činnosti. Každá činnost trvá určitou dobu, tudíž jí musí být přiřazena doba jejího trvání. Doba trvání činnosti může být kladné číslo (u reálných činností), nebo nula (u činností fiktivních). Někdy se i činnosti označují (pro přehled a celkový výpočet) pořadovými čísly a téměř vždy se označují ještě textem, který stručně charakterizuje věcnou náplň činnosti.

2.2.3 Ohodnocení činnosti

U Metody kritické cesty se předpokládá, že pro každou činnost známe její přesnou odpovídající dobu trvání, kterou je možné např. vypočítat z rozsahu práce a známé velikosti normy. Jak je tomu u metod analýzy kritické cesty obvyklé, budeme pro dobu trvání činnosti používat označení y_{ij} , které udává, jak dlouho bude trvat činnost, jejíž počáteční uzel je uzel i a koncový uzel je uzel j . Pro doby trvání včetně dob fiktivních platí, že $y_{ij} \geq 0$.

2.2.4 Výpočet na síti

Je potřeba sestavit orientovaný, hranově ohodnocený graf splňující požadavky uvedené v předchozí části textu reprezentující projekt. Každá hrana v něm má své ohodnocení a každý vrchol své označení + dvě prázdné kolonky (levá a pravá) pro zápis hodnot cest. Hrany, které budou ležet na cestách, budeme označovat. Graf může obsahovat i více než jednu kritickou cestu.



Obr. č. 2.3: Ukázka orientovaného, hranově ohodnoceného grafu [6]

Pro hodnocení projektu z hlediska jeho časového průběhu se vypočítávají tzv. základní časové údaje, k nimž patří:

➤ Ukazatele vztahující se k činnostem [i,j]:

- **Nejdříve možné zahájení činnosti [i,j] ZM_{ij}** , které určuje, kdy nejdříve od okamžiku zahájení realizace projektu je možno činnost zahájit. Hodnota je dána trváním nejdelší cesty, která vede od počátečního uzlu sítě k i-tému uzlu analyzované činnosti ve směru orientace hran grafu.
- **Nejdříve možné ukončení činnosti [i,j] KM_{ij}** , určuje nejdříve možný termín ukončení činnosti od okamžiku zahájení projektu. Známe-li hodnotu ZM_{ij} , je:

$$KM_{ij} = ZM_{ij} + y_{ij} \quad (2.1)$$

- **Nejpozději přípustné ukončení činnosti [i,j] KP_{ij}** , určuje nejpozdější termín ukončení činnosti tak, aby nebyl ohrožen určený celkový termín ukončení projektu daný většinou délkou kritické cesty. Jeho hodnotu získáme tak, že od termínu ukončení projektu odečteme trvání nejdelší cesty vedoucí od posledního uzlu sítě k j-tému uzlu analyzované činnosti proti směru orientace hran grafu.

- **Nejpozději přípustné zahájení činnosti [i,j] ZP_{ij}** , určuje nejpozdější termín zahájení činnosti tak, aby nebyl ohrožen určený celkový termín ukončení projektu daný délkou kritické cesty. Známe-li hodnotu KP_{ij} , je:

$$ZP_{ij} = KP_{ij} - y_{ij} \quad (2.2)$$

➤ Termíny vztahující se k uzlům sítě:

- **Nejdříve možný termín uzlu j TM_j** , který určuje nejbližší termín od okamžiku zahájení projektu, ve kterém mohou začít činnosti, pro něž je j -tý uzel uzlem počátečním. Lze ho stanovit jako

$$TM_j = \max_i \{KM_{ij}\} \quad (2.3)$$

- **Nejpozději přípustný termín uzlu i TP_i** , který určuje nejpozdější termín, ve kterém musí skončit činnosti, pro něž je i -tý uzel uzlem koncovým. Lze ho stanovit jako:

$$TP_i = \min_j \{ZP_{ij}\} \quad (2.4)$$

Výpočet nejdříve možných termínů - hodnot ZM_{ij} , KM_{ij} a TM_j budeme realizovat směrem od počátečního k poslednímu uzlu grafu.

Do počátečního uzlu (uzlu 1) dosadíme hodnotu $TM_1=0$ a pro všechny hrany vycházející z uzlu 1 vypočteme $KM_{1j} = 0 + y_{1j}$. Hodnoty zapíšeme ke koncům orientovaných hran $[1,j]$. Vypočtené hodnoty jsou zároveň TM_j koncových uzlů činností $[1,j]$, pouze pokud k nim nelze dospět jinou cestou.

Při určování TM_j dalších uzlů sítě, v nichž končí více činností, dosadíme za TM_j maximální hodnotu z vypočtených KM_{ij} , viz vztah (2.3). Opakovaným postupem dospějeme až do posledního, n -tého uzlu sítě. Získaná hodnota TM_n je zároveň, v souladu s definicí a použitým postupem výpočtu, nejkratším možným termínem dokončení projektu T .

Výpočet nejpozději přípustných termínů - hodnot ZP_{ij} , KP_{ij} a TP_i realizujeme směrem od koncového k počátečnímu uzlu grafu.

Do koncového uzlu dosadíme hodnotu $TP_n = TM_n$, vybereme hrany končící v uzlu n a vypočteme $ZP_{in} = TP_n - y_{in}$. Hodnoty zapíšeme k počátkům orientovaných hran $[i,n]$. Tyto hodnoty jsou zároveň (pokud k nim opět není možno dospět jinými cestami proti směru orientace hran) hodnotami TP_i , které do počátečních částí uzlů dosadíme. Při určování TP_i dalších uzlů sítě, ze kterých vychází více činností, dosadíme za TP_i minimální hodnotu z vypočtených ZP_{ij} , viz vztah (2.4). Opakovaným postupem dospějeme až do prvního uzlu sítě. Vypočtená hodnota TP_1 musí být rovna nule.

Základní vztahy mezi vypočítávanými časovými údaji:

Hodnota nejpozději přípustných termínů činnosti je vždy menší nebo rovna nejdříve možným termínům činností:

$$TP_i \geq TM_i \quad \text{pro všechna } i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

Uzly vymezující počátek a konec činnosti $[i,j]$:

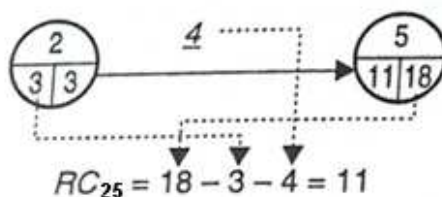
$$y_{ij} \leq TP_j - TP_i$$

$$y_{ij} \leq TM_j - TM_i$$

➤ **Časové rezervy činností a uzlů sítě:**

- **Celková časová rezerva RC_{ij} činnosti $[i,j]$** určuje o kolik lze odložit nejdříve možný termín jejího zahájení, nebo o kolik lze prodloužit její trvání, aniž bychom ohrozili celkový termín akce.

$$RC_{ij} = TP_j - TM_i - y_{ij} \quad (2.5)$$



Obr. č. 2.4: Ukázka výpočtu celkové časové rezervy

2.3 Technologické postupy obsluhy souprav vozidel cílových vlaků ve vlakových stanicích (vjezdová skupina kolejí)

Jelikož bude v bakalářské práci modelován proces přípravy vozidel k rozřadování ve vjezdové skupině kolejí na seřadovacím nádraží, seznámíme se nejdříve s tímto procesem. Tento proces byl zpracován podle zdroje [1]

2.3.1 Obsluha ve vjezdové skupině kolejí

Účelem obsluhy souprav vozů cílových nákladních vlaků je provést ve vjezdovém kolejišti všechny technické, přepravní a jiné operace a úkony potřebné k rozřadění těchto souprav na spádovišti.

Obsluhu souprav vozů cílových vlaků na vjezdových kolejích můžeme z hlediska příjezdu rozlišit na činnosti před příjezdem vlaku, v čase příjezdu vlaku a po příjezdu vlaku.

➤ Činnosti před příjezdem cílového vlaku

Včasná příprava k provedení všech úkonů ve vjezdové skupině kolejí závisí na včasných a spolehlivých informacích jako je např. počet vozů soupravy, počet náprav, hmotnost vozů, délka soupravy apod. Tyto informace jsou důležité pro řízení vlakových činností, i pro urychlení rozhodování o místních vjezdech, včetně zpracování příjemců zásilek.

➤ Činnosti v čase příjezdu cílového vlaku

Vjíždějící vlak sledují z obou stran vjezdové koleje vozoví, kteří zjišťují závady projevující se pouze při jízdě vlaku, jako jsou například plochá místa na kolech, uvolnění části vozové skříně, uvolnění nákladu apod.

Ve stanicích vybavených zachycovači průvodních listin na zhlavích vjezdové skupiny kolejí vhodí do nich za vjezdu vlaku vlakvedoucí, případně strojvedoucí nebo pomocník strojvedoucího Obal s průvodními listinami.

➤ **Činnosti po příjezdu cílového vlaku**

Po příjezdu cílového vlaku na určitou vjezdovou kolej probíhají činnosti:

charakteru přepravního, mezi něž patří převzetí, doručení a odevzdání průvodních listin, označování místních vozidel, přepravní prohlídka, vyhotovení a doručení tříďenek.

Charakteru technického, ke kterým patří technická prohlídka, zajištění soupravy vozidel, odstup vlakové lokomotivy a příprava soupravy vozidel k rozřadování.

Spojené s podáním a převzetím zpráv, týkajících se zejména hlášení o ukončení jednotlivých úkonů.

Z hlediska obsahové náplně můžeme všechny činnosti po příjezdu cílového vlaku do seřaďovací stanice rozdělit do těchto operací:

1. Převzetí, doručení a odevzdání průvodních listin a vlakové dokumentace (VD)
2. Zpracování průvodních listin (PL) ve vozové a přepravní kanceláři (VPK)
3. Označení místních vozů
4. Přepravní prohlídka
5. Vyhotovení a doručení tříďenek
6. Technická prohlídka
7. Zajištění soupravy vozidel a odstup vlakové lokomotivy
8. Příprava soupravy vozidel k rozřadování

Uvedené operace se dále člení na úkony obsahově odpovídající dané práci.

V tabulce č. 2.1 jsou přehledně uvedeny jednotlivé činnosti, které byly použity pro simulaci.

Tab. č. 2.1: Seznam činností prováděných ve vjezdové skupině kolejí seřadovací stanice

Název	Provádí
Technická prohlídka za vjezdu vlaku	Vozmistr
Technická prohlídka po zastavení vlaku	Vozmistr
Zajištění soupravy	Posunovač
Odvěšení vlakové lokomotivy	Posunovač
Rozpojení brzdových spojek, povolení šroubovek	Posunovač
Sejmutí koncové návěsti, hlášení o ukončení přípravy k rozřadění	Posunovač
Převzetí PL, VD	TRZ vnější
Odevzdání PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	TRZ vnější
Převzetí PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	TRZ vnitřní
Zpracování průvodních listin ve VPK	TRZ vnitřní
Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (<i>s průvodními listinami</i>)	TRZ vnitřní
Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (<i>bez průvodních listin</i>)	TRZ vnitřní
Přepravní prohlídka dle výkazu vozidel	TRZ vnější
Sepsání třídky (<i>jednostranně</i>)	TRZ třídkář
Doručení třídky na pracoviště zúčastněná na rozřadění soupravy	TRZ třídkář

Uvedený obecný postup obsluhy souprav cílových vlaků ve vjezdové skupině kolejí byl konfrontován s postupem v konkrétní železniční stanici (Ostrava Pravé nádraží) za účelem nalezení případných odchylek majících podstatný vliv na vytvářený simulační model.

Převzetí, doručení a odevzdání PL a VD

Existují dva případy převzetí PL a VD, a to u vlaku s vlakovou četou a u vlaku bez vlakové čety. U vlaku s vlakovou četou odevzdává vlakvedoucí vlakopis s přílohami výpravčímu a obal s průvodními listinami odevzdává vnitřnímu tranzitéru. U vlaku bez vlakové čety přejímá vlakopis a obal s průvodními listinami vnější tranzitér, nebo jiný určený pracovník železniční stanice vnitřnímu tranzitéru. Vnitřní tranzitér pak zajistí doručení vlakopisu výpravčímu.

Vnitřní tranzitér při přejímce PL a VD od vnějšího tranzitéra nebo od vlakvedoucího kontroluje ještě za jejich přítomnosti počet průvodních listin, případně přebytky a ztráty. Převzetí průvodních listin potvrzuje příjezdovým razítkem ve výkazu vozidel.

Zpracování průvodních listin

Po převzetí PL vnitřní tranzitér přezkoumává PL, což je porovnání údajů ve výkazu vozidel se skutečností. Zjišťuje, zda se shoduje číslo vozu, název stanice určení, kompletnost příloh zapsaných v průvodní listině, dodržení hmotnosti na nápravu na přípojných tratích, zda zásilka nevyžaduje opatrnosti při posunu, zda nejsou ve stanici přikázány zvláštní úkony (ledování, krmení a napájení zvířat, vážení aj.). Dále musí roztrždit průvodní listiny podle relací a místního určení.

Označení místních vozů

Po přezkoušení PL, zpravidla ještě před jejich roztrždáním se připravují nálepky pro místní vozy. Těmto nálepkám se říká určující nálepky. Je na nich uvedeno kam má být vůz přistaven a úkony, které mají být s vozem provedeny.

Těmito nálepkami označuje na vjezdových kolejích místní vozy vnější tranzitér zpravidla současně s vykonáváním přepravní prohlídky.

Přepravní prohlídka

Přepravní prohlídka se provádí za účelem zajistit a odstranit závady přepravního charakteru včas, a tím zabránit případnému zařazení vozidla se závadou do vlaku připraveného k odjezdu. Přepravní prohlídku provádějí pracovníci VPK, a to vnější tranzitér a tranzitér třídkář. Tito pracovníci jdou každý z jedné strany soupravy vozidel a porovnávají podle výkazu vozidel údaje na vozových nálepkách.

Tranzitér třídkář a vnější tranzitér si při přepravní prohlídce vzájemně hlasitě porovnávají a ověřují správnost údajů o označení vozu nálepkami. Dále sledují, zda nejsou na vozech a zásilkách závady ohrožující bezpečnost vlakové dopravy a neporušenost nákladu.

Vyhotovení a doručení tříděnek

Tříděnka je dokument určující na které koleje mají být rozřazeny jednotlivé vozy nebo skupiny vozů, jsou-li vozy ložené či prázdné a jestli není při posunu dbát zvláštní opatrnosti se zřetelem na náklad nebo charakter vozu.

Tříděnka se vyhotovuje různými způsoby:

- Transzitér tříděnkář vyhotovuje tříděnku přímo u vlaku hned po příjezdu vlaku.
- Vozová a přepravní kancelář sepisuje tříděnku na základě údajů, které jí o jednotlivých vozidlech hlásí transzitér-tříděnkář pomocí staničního bezdrátového spojení (vysílačky).

Tříděnky se vyhotovují v určeném počtu výtisků a na jednotlivá pracoviště je doručuje transzitér – tříděnkář sám, nebo pomocí doručovatele, případně potrubní poštou nebo místní dálňopisnou sítí.

Technická prohlídka

Technickou prohlídku vozidel vykonávají zpravidla dva vozmistři za účelem zajištění technického stavu vozidel a stavu zásilek naložených na otevřených vozech. Technická prohlídka začíná již za příjezdu vlaku, kdy vozmistři pozorují vlak a zajišťují závady projevující se při jízdě vlaku. Po zastavení vlaku provádějí technickou prohlídku každý po jedné straně chůzí od konce vlaku směrem k jeho začátku.

Technická prohlídka je prováděna dle příslušných norem. Vozmistři se zaměřují na kontrolu pojezdového, táhlového a narážecího ústrojí, brzdících zařízení, oddělitelných součástí i revizní lhůty. Nedílnou součástí kontroly je i kontrola nákladu, zda vyhovuje přepravním podmínkám a neohrožuje bezpečnost provozu. Vozy určené k opravě se označí předepsanými nálepkami.

Ukončení technické prohlídky oznámí vozmistři staničnímu dispečeru. Vozy nezpůsobilé k další jízdě oznámí pracovníkům VPK s uvedením čísla vozu a druhu poškození.

Zajištění soupravy vozidel a odstup vlakové lokomotivy

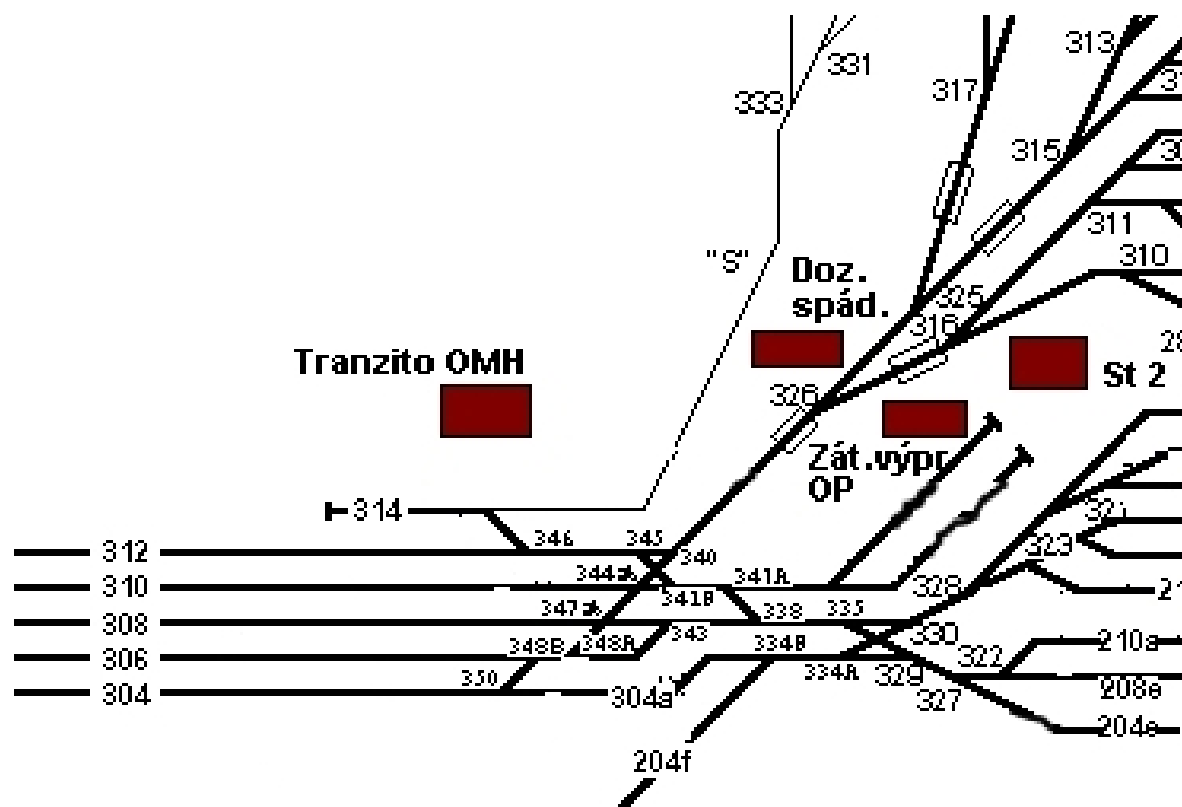
Účelem této operace je zabránit soupravě samovolnému pohybu po odjezdu vlakové lokomotivy. Po zastavení vlaku posunovač zajistí soupravu předepsaným počtem ručních brzd. Po zajištění soupravy vozidel proti ujetí je odvěšena vlaková lokomotiva.

Příprava soupravy vozidel k rozřadování

Přípravu soupravy vozidel k rozřadování provádí posunovač. Podle vozových nálepek a vydaných místních pomůcek povoluje šroubovky a rozpojuje brzdové spojky. Tyto operace jsou prováděny jen mezi jednotlivými odvěsy. Brzdové spojky se zavěšují na jalová hrdla. Ukončení přípravy soupravy vozů k rozřadování oznamuje posunovač dozorcí spádoviště.

2.3.2 Ostrava - Pravé nádraží

Ostrava - Pravé nádraží je seřadovacím obvodem železniční stanice Ostrava hlavní nádraží. Slouží výhradně k nákladní dopravě. Pravé nádraží soustřeďuje relace zejména ze směru jih a západ (tedy od Ostravy Svinova). Činnost na Pravém nádraží řídí staniční dispečer. S pomocí dozorce spádoviště stanovuje postup rozřadování a včasnou sestavu vlaků. V součinnosti s nádražním účelně organizuje práci posunových lokomotiv k zajištění včasné obsluhy vleček a druhotného posunu. Součástí kolejiště Pravého nádraží je rovněž kolejiště Opravny vozů Ostrava, kde se za směnu opraví až 75 nákladních vozů. Do Pravého nádraží jsou také zaústěny významné vlečky: koksovna Šverma, chemička BorsodChem MCHZ a Opravna vozů.



Obr. č. 2.5: Situační schéma Ostrava - Pravé nádraží

Na obrázku č. 2.5 vidíme schéma seřadovacího obvodu stanice, konkrétně Ostrava pravé nádraží. Z obrázku je patrné číslování kolejí a rozmístění jednotlivých stanovišť, což jsou: Tranzito OMH, stanoviště posunovače, stanoviště nádražního, stanoviště vedoucího posunu a stanoviště dispečera.

2.3.3 Analýza výkazu vozidel

Simulační model, který bude dále v práci představen, bude modelovat proces rozřadování souprav vlaků ve vlakových stanicích ve vjezdové skupině kolejí. Jelikož doby trvání jednotlivých modelovaných činností závisí na údajích o konkrétní soupravě, je třeba nejprve tyto údaje získat. Tyto údaje lze získat z výkazu vozidel dané soupravy.

Z výkazu vozidel pro konkrétní soupravu (viz obr. č. 2.6) lze vyčíst údaje, jako jsou například celkový počet vozů, počet ložených a prázdných náprav, délka soupravy, hmotnost zboží, hmotnost vozů, hmotnost vlaku brzdná dráha aj. Pro naše potřeby jsou důležité údaje uvedeny v tabulce č. 2.2.

Tab. č. 2.2: Seznam údajů potřebných pro výpočet časů jednotlivých činností

Celkem vozů	34
Počet tranzitních vozů	31
Počet místních vozů	3
Počet vozů volného oběhu	22
Počet vozů přepraveců	12
Počet místních vozů s průvodními listinami	0
Počet místních vozů bez průvodních listin	3
Počet odvěsů	9
Počet ložených vozů	21
Počet prázdných vozů	13
Počet vozů s průvodními listinami	21
Počet vozů bez průvodních listin	13

Při stanovování počtu odvěsů bylo předpokládáno, že k odvěšení dochází při změně poslední vlakové stanice, tedy, že každá relace je shromažďována na samostatné směrové koleji.

Počet vozů přepraveců byl vyčten z výkazu vozidel na základě čísla vozu. Je-li druhá číslice 3,4,5 nebo 6, jedná se o vůz přepravece. Je-li druhá číslice 1 nebo 2, nejedná se o vůz přepravece, tedy se jedná o vůz Českých drah (vůz volného oběhu).

Průvodními listinami jsou vybaveny všechny ložené vozy a prázdné vozy přepraveců.

VÝKAZ VOZIDEL VLAKU ČÍSLO: 090003

SOUPIS DNE: 2009.12.9 v 04:15

STANICE SOUPISU: 54-344143 Ostrava-Kunčice

STANICE CÍLOVÁ: 54-343640 Ostrava hlavní nádraží

2154 - ČD Cargo, a.s.
Ostrava hl. n. 4 vPK

9-12-09-2100

90003

343640

308m

ČR	ČÍSLO VOZU	N	DS	ŽST OD	ŽST UR	SMĚR	PO	HMZ	HMV	DLV	BR	POZN.
01	83 54 9205 472-0	4	11	54-344143	54-533091	55749	54	55	25	144	49	263500
02	83 54 9321 164-2	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	25	144	49	350000
03	83 54 9321 313-5	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	24	144	49	350000
04	83 54 9321 132-9	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	25	144	49	350000
05	83 54 9321 139-4	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	25	144	49	350000
06	83 54 9321 148-5	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	24	144	49	350000
07	83 54 9321 137-8	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	25	144	49	350000
08	83 54 9321 138-6	4	11	54-344143	51-084707	02600	00	55	25	144	49	350000
09	31 54 5959 756-5	4	50	54-344143	54-343640	31200	00	0	22	140	26	260000
10	31 54 5963 841-9	4	50	54-344143	54-343640	31200	00	0	22	140	26	000000
11	31 54 5963 253-7	4	50	54-344143	54-343640	31200	00	0	22	140	26	000000
12	81 54 6994 340-2	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
13	81 54 6994 135-6	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
14	81 54 6994 334-5	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
15	81 54 6994 387-3	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
16	81 54 6994 179-4	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
17	81 54 6994 142-2	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	24	127	24	000000
18	81 54 6994 375-8	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
19	81 54 6994 056-4	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	000000
20	81 54 6994 390-7	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	23	127	24	260000
21	81 54 6994 361-8	4	50	54-344143	54-348748	31787	00	0	24	127	24	000000
22	33 56 6681 040-3	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	26	135	52	143500
23	33 56 6681 064-3	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	26	135	52	143500
24	33 56 6681 053-6	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	26	135	52	143500
25	33 56 6681 066-8	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	54	26	135	52	350000
26	81 54 6682 748-3	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	25	135	42	000000
27	31 54 5962 171-2	4	51	54-350348	81-010710	01300	00	40	22	140	52	260000
28	31 54 5953 986-4	4	51	54-350348	81-010710	01300	00	39	22	140	52	000000
29	81 54 4540 183-0	4	31	54-350348	54-558593	53600	54	53	24	200	38	012800
30	31 54 5969 375-2	4	51	54-350348	54-343640	31200	32	57	23	140	48	000000
31	31 54 5969 193-9	4	51	54-350348	54-343640	31200	32	57	23	140	48	000000
32	31 54 5968 279-7	4	51	54-350348	54-343640	31200	32	57	23	140	48	000000
33	81 54 6676 660-8	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	26	135	42	000000
34	81 54 6676 049-4	4	51	54-350348	54-349241	30105	32	53	27	135	42	263600

CELKEM:	VOZŮ	NESL. OE	DĚLKA	HM. ZBOŽÍ	HM. VOZŮ	HM. VLAKU	BRZD. VÁHA	BRZD. %
	34	0	469	1115	815	1930	1330	68,9

POČET NÁPRAV:	LOŽENÉ	PRÁZDNÉ	CELKEM
	84	52	136

SEPSAL: HRČKOVÁ

Přepravní prohlídka provedena dne 9.12. 34 vozů ukončena 21:50

Obr. č. 2.6 Výkaz vozidel pro konkrétní soupravu

3 NÁVRH SIMULAČNÍHO EXPERIMENTU

Před zahájením modelování v simulačním prostředí programu Witness bylo potřeba provést přípravu, skládající se z těchto vstupních údajů:

- Zjištění jednotlivých činností procesu rozřadování a jejich návazností.
- Zjištění doby trvání jednotlivých činností.
- Zhotovení síťového grafu.
- Zhotovení inverzního síťového grafu.

Na základě těchto znalostí byl vytvořen simulační model v programu Witness.

Zjištění jednotlivých činností procesu rozřadování a jejich návazností

Při tvorbě modelu bylo vycházeno z technologického postupu uvedeného v části 2.3. Tento postup byl pro potřeby práce porovnán s postupem studovaného procesu v seřadovacím obvodu Ostrava - Pravé nádraží za účelem zjištění případných odlišností v technologických postupech, mající vliv na modelovaný proces. Tento technologický proces rozřadování jsem si prošel se zaměstnankyní ČD, což mi pomohlo lépe porozumět celému procesu. Bylo zjištěno, že mezi obecným postupem a postupem v praxi nejsou téměř žádné odlišnosti, proto bude při modelování uvažován postup dle [3].

Zjištění doby trvání jednotlivých činností

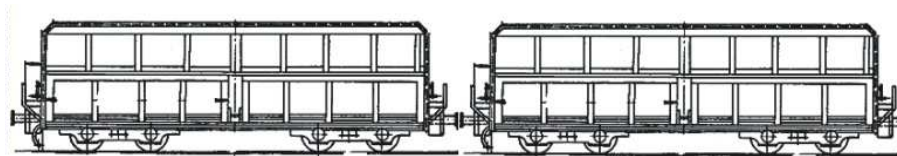
Doby trvání jednotlivých činností budou uvažovány deterministické. Jednotlivé časové normativy činností potřebné k vypočtení trvání jednotlivých činností byly čerpány ze skript [3], a pokud se nevyskytovaly, byly převzaty z [1].

Technická prohlídka po zastavení vlaku se provádí pro každý vůz, časový normativ byl tedy vynásoben počtem vozů v soupravě.

Ve vozové a přepravní kanceláři se přejímají a zpracovávají průvodní listiny. Průvodními listinami se vybavují jen vozy ložené a prázdné vozy přepravců. Časový normativ je tedy vynásoben počtem vozů vybavených průvodními listinami.

Tříděnka se sepisuje pro každý vůz zařazený v soupravě. Liší se jen časové normativy (v závislosti na tom, zda je vůz ložený či nikoli) pro výpočet celkové doby trvání činnosti. Časový normativ pro ložený vůz se vynásobí počtem ložených vozů zařazených v soupravě. Časový normativ pro prázdný vůz se vynásobí počtem prázdných vozů zařazených v soupravě. Oba tyto výsledky se pak sečtou a výsledkem je celková doba trvání sepsání tříděnky.

Rozpojení brzdových spojek a povolení šroubovek se provádí jen u jednotlivých odvěsů. Je nesmyslné tuto operaci provádět u vozů řazených za sebou určených na stejnou relaci. Na obrázku č. 3.1 jsou dva odvěsy, to znamená, že každý vůz je určen na jinou směrovou kolej. Časový normativ se v tomto případě vynásobí počtem odvěsů sníženým o jeden.



Obr. č. 3.1: Ukázka dvou vozů (odvěsů) [7]

Přepravní prohlídka dle výkazu vozidel je prováděna pro každý vůz soupravy, časový normativ je tedy vynásoben celkovým počtem vozů soupravy.

Příprava určovacích nálepek pro místní vozy s průvodními listinami se provádí jen pro místní vozy s průvodními listinami. Časový normativ je tedy vynásoben počtem místních vozů s průvodními listinami. Časový normativ pro místní vozy bez průvodních listin je počítán analogicky.

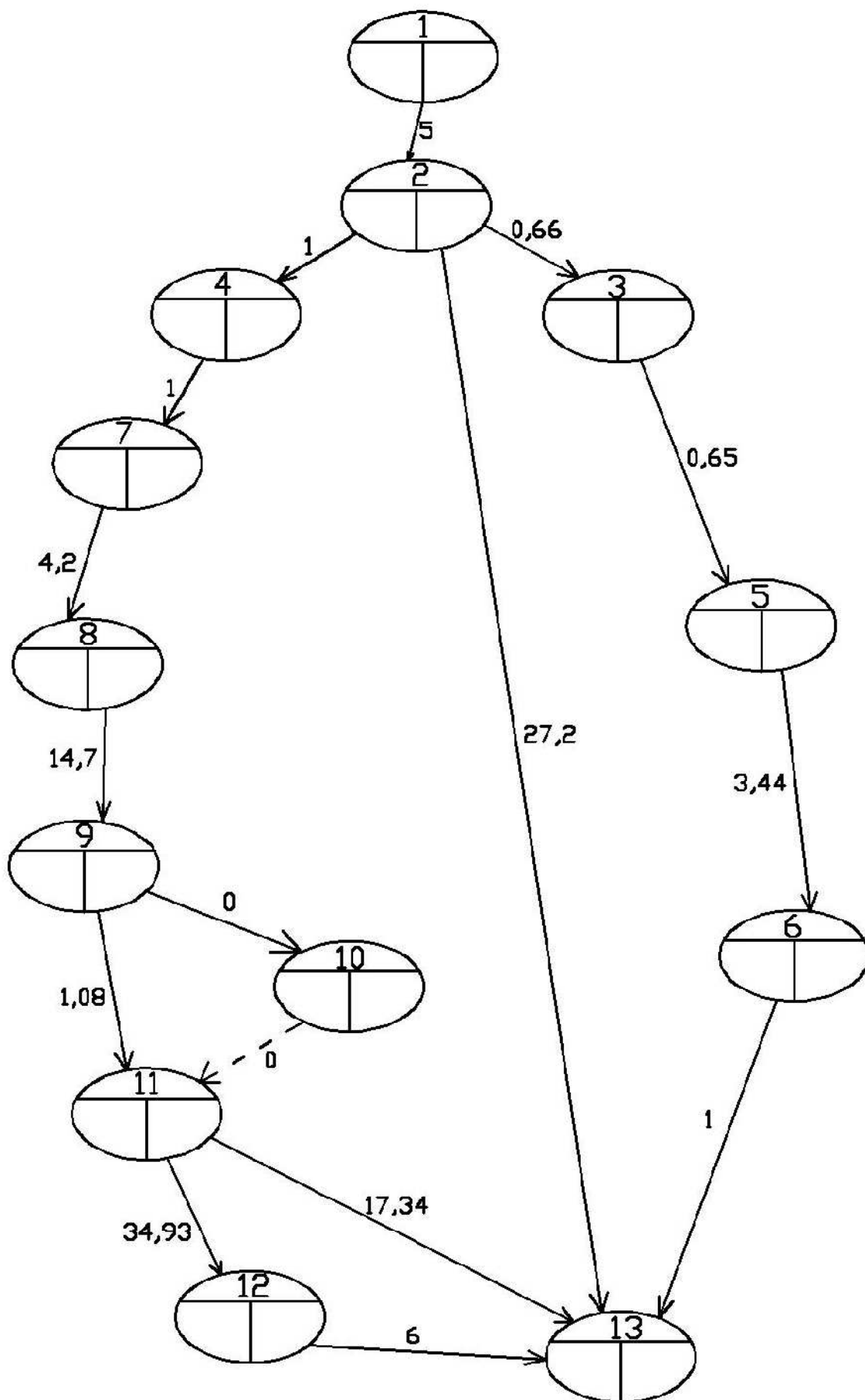
Tříděnka se musí v podmínkách seřadovacího obvodu Ostrava – Pravé nádraží doručit na pracoviště zúčastněná na rozřadování soupravy, což je stanoviště posunu na svážném pahrbku (2 kusy tříděnky), stanoviště nádražního (5 kusů tříděnky) a stanoviště dispečera (1 kus tříděnky – originál). Časový normativ je tedy vynásoben třemi, protože se tříděnka musí doručit na tři různá pracoviště.

Tab. č. 3.1 Označení činností s dobou jejich trvání

Poř. číslo	Ozn. činnosti	Název	Čas. normativ [min/úkon]	Trvání činnosti [min]
1	1-2	Technická prohlídka za vjezdu vlaku	5	5
2	2-13	Technická prohlídka po zastavení vlaku	0,8	27,2
3	2-3	Zajištění soupravy	0,66	0,66
4	3-5	Odvěšení vlakové lokomotivy	0,65	0,65
5	5-6	Rozpojení brzdových spojek, povolení šroubovek	0,43	3,44
6	6-13	Sejmutí koncové návěsti, hlášení o ukončení přípravy k rozřadění	1	1
7	2-4	Převzetí PL, VD	1	1
8	4-7	Odevzdání PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	1	1
9	7-8	Převzetí PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	0,2	4,2
10	8-9	Zpracování průvodních listin ve VPK	0,7	14,7
11	9-10	Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (s průvodními listinami)	0,36	0
12	9-11	Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (bez průvodních listin)	0,36	1,08
13	11-13	Přepravní prohlídka dle výkazu vozidel	0,51	17,34
14	11-12	Sepsání třídky (jednostranně)	ložený 1,1 prázdný 0,91	34,93
15	12-13	Doručení třídky na pracoviště zúčastněná na rozřadění soupravy	1 odevzdávka: 2	6

Zhotovení síťového grafu

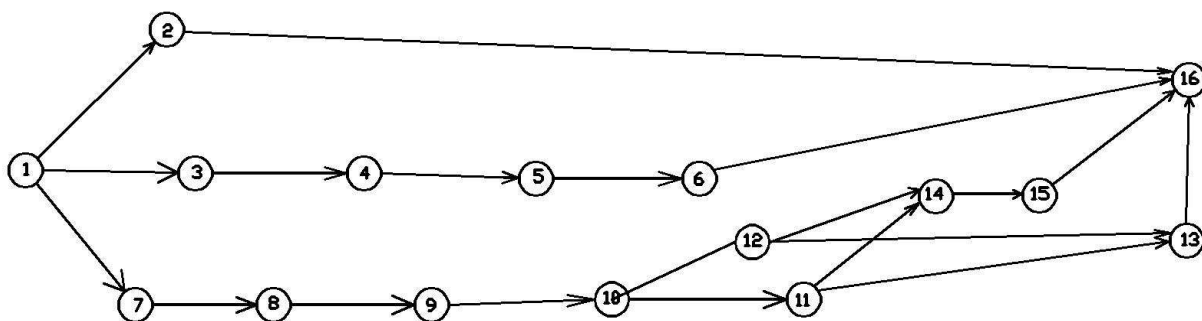
Zhotovení je provedeno na základě znalostí jednotlivých činností, jejich trvání a návazností. Graf je zhotoven pomocí vrcholů představujících začátky a konce jednotlivých činností a pomocí orientovaných hran představujících jednotlivé činnosti (viz obrázek č. 3.2). Takto vytvořený graf je však vhodný jen pro analytický výpočet a pro simulaci v simulačním prostředí programu Witness je zapotřebí zhotovit k tomuto grafu inverzní síťový graf.



Obr. č. 3.2 Síťový graf pro analytický výpočet

Zhotovení inverzního síťového grafu


Inverzní zobrazení grafu, u něhož vrcholy představují jednotlivé činnosti a hrany představují věcné vazby mezi činnostmi, slouží jako podklad pro tvorbu simulačního modelu ve Witnessu. Inverzní síťový graf je zobrazen na obrázku č. 3.3.



Obr. č. 3.3: Inverzní síťový graf

3.1 Sestrojení simulačního modelu

Simulační model v software Witness se skládá z jednotlivých prvků. Uvedme ty, které byly při sestavě modelu použity. Jsou to stroje (machine) představující jednotlivé činnosti, součást (part), která představuje vstupní element, což je v konkrétním případě souprava k rozřazení. Dále je potřeba pomocné proměnné typu Vreal. Proměnná Vreal umožňuje zapsat hodnotu jako desetinné číslo a v modelu se používá pro zápis jednotlivých dob trvání činností, zápis celkové doby trvání projektu a pro proměnnou Odecet_ sloužící k výpočtu časových hodnot při zpětném průchodu.

Nejdříve je potřeba vložit potřebný počet strojů na pracovní plochu, dvojklikem na příslušný stroj otevřít okno s nastavením a do kolonky „Name“ napsat, jak by se měl daný stroj jmenovat. Postup je třeba opakovat u každého stroje zvlášť. Pak je třeba mezi nimi udělat vazby. Nejdříve je nutno označit příslušný stroj kliknutím na něj a poté použít pravidlo PUSH. V simulačním prostředí je pravidlo PUSH přiřazeno k ikonce . Pravidlem PUSH se vytvoří podle inverzního grafu vazby mezi jednotlivými stroji tam, kde je to žádoucí. Pravidlo PUSH nelze použít u strojů, ze kterých vychází více činností. U takovýchto činností je nutno použít pravidlo SEQUENCE/WAIT.

3.2 Nastavení jednotlivých strojů (činností) pro zápis ZM_{ij} a KM_{ij}

Každý stroj se musí samostatně nastavit, aby prováděl požadované operace. U modelu je žádoucí, aby se vstupní data načítala z externího excelovského souboru s jednotlivými úkony, časovými normativy a trváním jednotlivých činností, viz tabulka č. 3.3. Výhodu to má tu, že při zadání jiného počtu vozů nemusíme přepočítávat a přepisovat trvání činností u každé činnosti zvlášť v programu Witness, ale výpočet se provede přímo v Excelu vynásobením buňky s hodnotou časového normativu na úkon (jehož hodnota je deterministická) příslušnou hodnotou (respektive hodnotami) z tabulky č. 3.2. K načtení jednotlivých údajů o trvání činností byla použita pomocná proměnná VReal.

Tab. č. 3.2: Vstupní tabulka

Celkový počet vozů	34
Počet místních vozů (s průvodními listinami)	0
Počet místních vozů (bez průvodních listin)	3
Počet odvěsů	9
Počet ložených vozů	21
Počet prázdných vozů	13
Počet vozů s průvodními listinami	21
Počet vozů bez průvodních listin	13

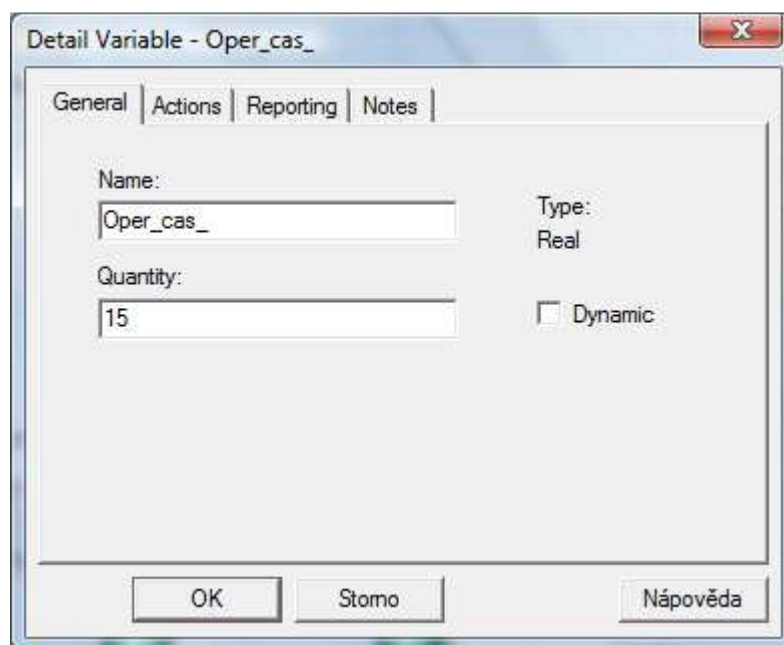
Tab. č. 3.3: Jednotlivé činnosti s časovými údaji

Poř. č.	Název	Čas. normativ [min/úkon]	Trvání činnosti [min]
1	Technická prohlídka za vjezdu vlaku	5	5
2	Technická prohlídka po zastavení vlaku	0,8	27,2
3	Zajištění soupravy	0,66	0,66
4	Odvěšení vlakové lokomotivy	0,65	0,65
5	Rozpojení brzdových spojek, povolení šroubovek	0,43	3,44
6	Sejmutí koncové návěsti, hlášení o ukončení přípravy k rozřadění	1	1
7	Převzetí PL, VD	1	1
8	Odevzdání PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	1	1
9	Převzetí PL, VD - ve vozové a přepravní kanceláři	0,2	4,2
10	Zpracování průvodních listin ve VPK	0,7	14,7
11	Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (s průvodními listinami)	0,36	0
12	Příprava určovacích nálepek pro místní vozy (bez průvodních listin)	0,36	1,08
13	Přepravní prohlídka dle výkazu vozidel	0,51	17,34
14	Sepsání třídky (jednostranně)	ložený 1,1 prázdný 0,91	34,93
15	Doručení třídky na pracoviště zúčastněná na rozřadění soupravy	1 odevzdávka: 2	6

Proměnná VReal

Tuto proměnnou je nutné vložit na pracovní plochu simulačního programu Witness. V okně „Designer Elements“ je potřeba zvolit záložku „Variables“. Vložení se provede kliknutím na proměnnou VReal a následným kliknutím na pracovní plochu simulačního programu Witness.

Do nastavení této pomocné proměnné se dá dostat dvojklikem a následně se může v kolonce „Name“ změnit název proměnné. Do kolonky „Quantity“ je nutné napsat číslo odpovídající počtu načítaných operačních časů, což je počet simulovaných činností.



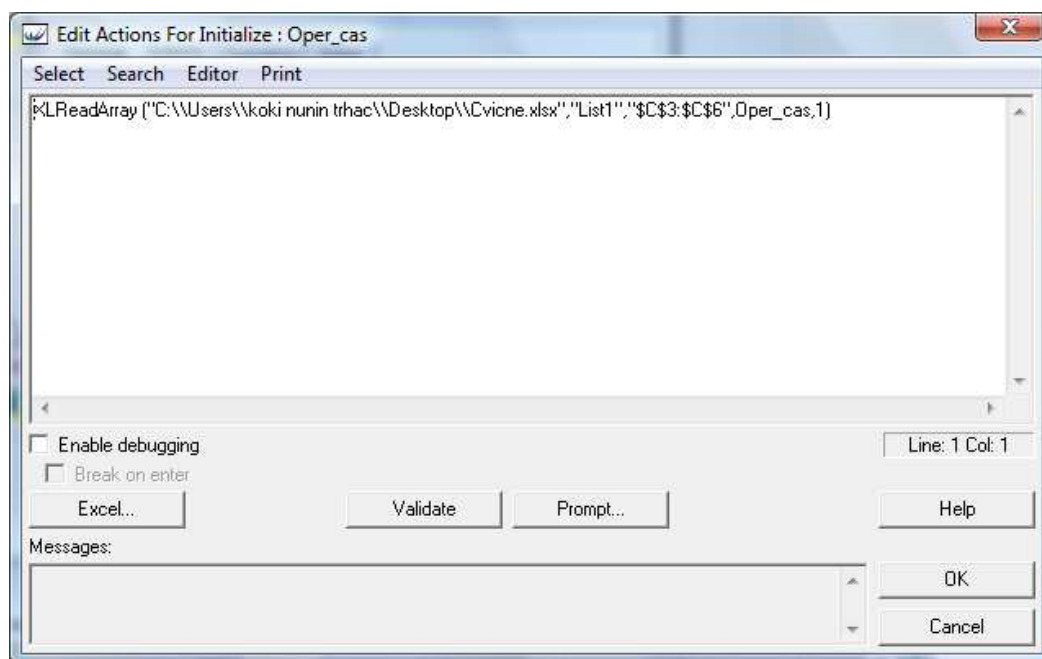
Obr. č. 3.4: Okno nastavení proměnné VReal

Další nastavení je prováděno v záložce actions. V rozkliknutém nastavení Initialize actions se zadává, jaká data mají být načítána. K tomu slouží příkaz:

„XLReadArray ("Cesta k souboru", "Název listu", "Odkaz na buňky", Proměnná, 1)“

- Cestou k souboru je myšlena cesta k místu na pevném disku, kde je daný excelovský soubor uložen.

- Název listu určuje list v dokumentu, z něhož se data mají čerpat, většinou bývá v Excelu přednastaveno List1.
- Odkazem na příslušné buňky už se pak jednoznačně definuje, které hodnoty se budou načítat.
- Místo proměnné se napíše název proměnné, do které se budou zadané hodnoty z Excelu načítat. Vše stačí potvrdit tlačítkem OK a nastavení proměnné Oper_cas je hotovo.



Obr. č. 3.5: Editační okno pro nastavení akce proměnné VReal

Stroje (činnosti)

Po rozkliknutí stroje představujícího určitou činnost se zobrazí následující okno:

Detail Machine - Cinnost12

General | Setup | Breakdowns | Fluid Rules | Shift | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name: [název činnosti 1] Quantity: [1] Priority: [Lowest] Type: [Single 2]

Input 6
Quantity: [1]
From...
Wait
Actions on Input... X

Duration
Cycle Time: [Oper_cas (x) 3]
Labor Rule... X
Actions on Start... 4 ✓
Actions on Finish... 5 ✓

Output 7
Quantity: [1]
To...
Push
Actions on Output... X
Output From: [Front]

OK Storno Nápověda

Obr. č. 3.6: Okno pro nastavení stroje

Kromě změny názvu (na obrázku č. 3.6 označení 1), což zaručuje určitou přehlednost v modelovaném systému, je zde nutno zadat i další parametry:

- zvolit typ stroje (na obrázku č. 3.6 označení 2). Po rozkliknutí je na výběr ze 7 druhů strojů. Pro potřeby simulace jsou však zapotřebí jen tyto:
 - **Jednoduchý (single):** tento typ stroje se použije, předchází-li aktuální činnosti jiná činnost a navazuje li na aktuální činnost další. Znamená to, že jedna vazba do stroje vstupuje a jedna z něj vystupuje.
 - **Produkční (production):** tento typ stroje se použije, předchází-li aktuální činnosti jiná činnost a následuje činností více. Do stroje tedy vstupuje jedna vazba a vystupuje z něj více vazeb. U výstupu stroje se píše počet vystupujících součástí. Chceme-li, aby vystupovalo ze stroje více vazeb než jedna, napíšeme do výstupu stroje hodnotu n-1, přičemž n představuje požadovaný počet vazeb na výstupu.

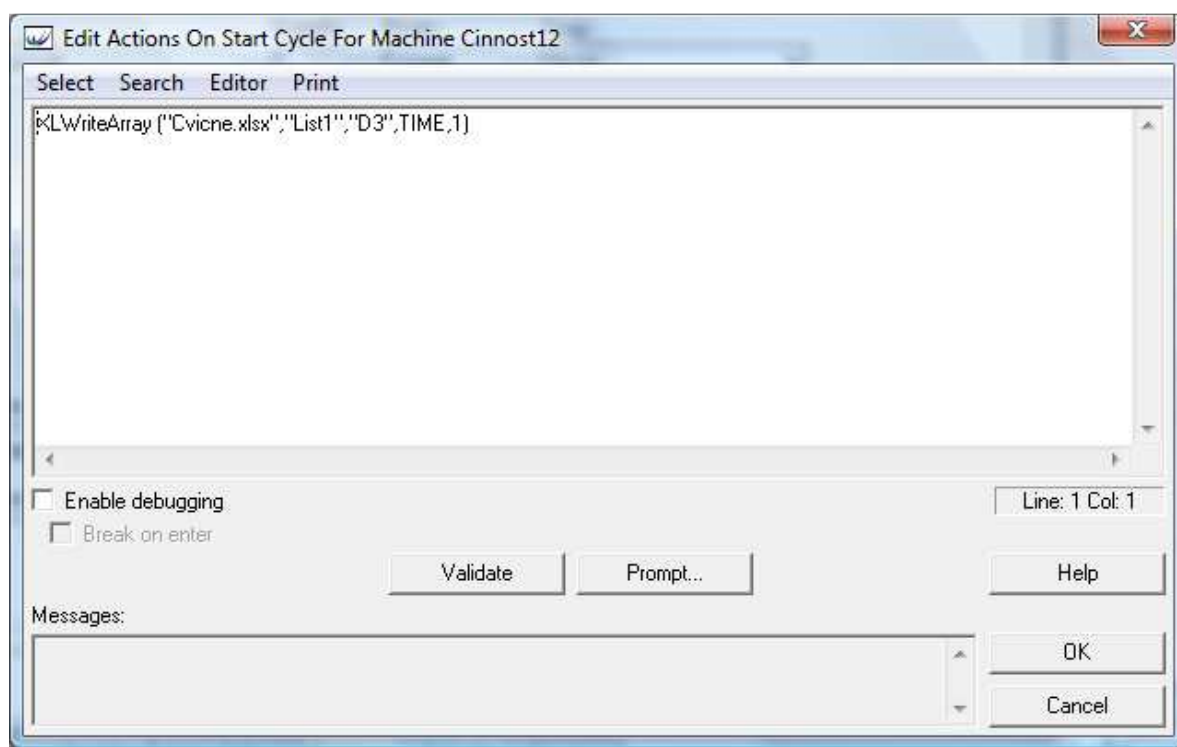
- **Montážní (assembly):** tento typ stroje se použije, předchází-li aktuální činnosti více činností a následuje jedna činnost. Do stroje tedy vstupuje více vazeb a vystupuje z něj jedna.
- **Obecný (general):** tento typ stroje se použije, vstupuje-li do aktuálního stroje více vazeb a vystupuje z něj více vazeb. Tímto strojem lze nahradit všechny předchozí.

– Operační čas stroje (Cycle time) (na obrázku č. 3.6 označení 3).

Zde se napíše název pomocné proměnné, která byla nazvána jako Oper_cas. Do řádku se napíše příkaz Oper_cas(x), přičemž x představuje číslo určující konkrétní operační čas. Nastavujeme-li se například činnost, která je uvedena v tabulce jako druhá, je nutno místo x napsat dvojku.

– Akce při startu (Actions on start) (na obrázku č. 3.6 označení 4)

Po rozkliknutí se zobrazí okno uvedené na obrázku č. 3.7.



Obr. č. 3.7 Editační okno nastavení akce při startu u stroje

Zde se vkládají příkazy, pomocí kterých se zapíší jednotlivé časy nejdříve možných začátků a konců činností do tabulky v Excelu. Slouží k tomu příkaz:

„XLWriteArray ("Název souboru", "Název listu", "Odkaz na buňky", TIME, 1)“

- Název souboru je název excelovského souboru, do kterého se budou daná data zapisovat. Je potřeba zadat celý název i s příponou.
- Název listu určuje list v dokumentu, do něhož se data mají zapsat, většinou bývá v Excelu přednastaveno List1.
- Odkazem na příslušné buňky se jednoznačně definuje, do které buňky se data zapíší.
- Na místě 4. parametru bude TIME, což je vnitřní proměnná Witnessu vyjadřující aktuální simulární čas.

– Akce na konci (Actions on finish) (na obrázku č. 3.6 označení 5)

Po rozkliknutí se zobrazí stejné okno jako u akce při startu. Pro zápis hodnoty do Excelu se použije také stejný příkaz jako u akce při startu s tím rozdílem, že odkaz na buňku, do které se má hodnota zapsat, bude jiný.

– Vstup (input) (na obrázku č. 3.6 označení 6)

Do vstupu se píše, kolik součástí do stroje vstupuje, tzn. kolik činností dané činnosti předchází. Hodnota se píše jen, je-li stroj obecný nebo montážní.

– Výstup (Output) (na obrázku č. 3.6 označení 7)

Do výstupu se píše, kolik součástí ze stroje vystupuje, tzn. kolik činností po dané činnosti následuje. Hodnota se píše jen, je-li stroj produkční nebo obecný. Výstupní pravidlo PUSH není vhodné použít, pokud na příslušnou činnost navazuje činností více. V tomto případě je nutno použít pravidlo SEQUENCE/WAIT, neboť může při použití pravidla PUSH docházet k následujícím problémům.

Pravidlo PUSH TO se snaží odeslat součást do stroje uvedeného jako první v pořadí, a je-li první stroj obsazen, odesílá do stroje uvedeného jako druhý v pořadí. Jestliže je operační čas prvního stroje nulový, součást jím jen projde do dalšího stroje. Při odesílání další součásti do stroje je opět vyhodnocen první stroj jako volný, a proto je součást odeslána opět do prvního stroje. Druhým strojem tedy součást vůbec neprojde, což má za následek zkreslení výsledků.

Takto se nastaví všechny stroje až na poslední stroj, který uzavírá síťový graf a jeho operační čas je nulový. U tohoto posledního stroje se zapisuje jen příkaz pro zapsání simulárního času do příslušné buňky Excelu. Takto zapsaná hodnota představuje celkovou dobu trvání projektu. Tato celková doba trvání projektu se současně zapíše do proměnné typu VReal s názvem „Doba_projektu“, se kterou bude pracováno při zpětném průchodu při výpočtu nejpozději přípustných zahájení a ukončení činností. Tímto se získá funkční model pro zápis nejdříve možných začátků a konců jednotlivých činností do Excelu. Pro zápis hodnot nejpozději přípustných začátků a konců jednotlivých činností je nutné model rozšířit o další stroje, které budou představovat stejné činnosti, ale v opačném pořadí, tedy od poslední k počáteční.

3.3 Nastavení jednotlivých strojů (činností) pro zápis ZP_{ij} a KP_{ij}

Aby bylo možno simulovat i zpětný chod, což je při ručním výpočtu výpočet nejpozději přípustných zahájení a ukončení činností, je nutno kromě proměnné typu VReal s názvem „Doba_projektu“ nadefinovat další proměnnou typu VReal, která je v modelu nazvána jako „Odecet_“. Proměnná „Doba_Projektu“ představuje celkovou vypočítanou dobu trvání projektu (hodnota je stanovena při přímém průchodu síťovým grafem). Proměnná „Odecet_“ je pomocná proměnná sloužící k výpočtu časových charakteristik při zpětném průchodu.

Po vložení všech strojů představujících činnosti vznikne symetrický model, jehož střed je stroj, který uzavírá přímý průchod pro výpočet ZM_{ij} a KM_{ij} , zároveň je však první pro zahájení zpětného průchodu pro výpočet ZP_{ij} a KP_{ij} . Tento stroj je typu general a vstupní i výstupní počet vazeb bude 4, protože do stroje vedou 4 vazby a taktéž z něj vedou 4 vazby. Do nastavení akce na konci se připsí ještě příkazy:

$$„Doba_projektu = TIME“$$

$$„Odecet_ = TIME“$$

Příkazem „Doba_projektu = TIME“ se nadefinuje hodnota pomocné proměnné „Doba_projektu“. Do této proměnné se zapíše simulární čas, jehož hodnota je rovna celkové době trvání projektu.

Příkaz „Odecet_ = TIME“ je potřebný pro výpočet časových charakteristik zpětného chodu.

U všech dalších strojů zpětného chodu je nutné zapsat u akce při startu a konci tyto příkazy:

$$„Odecet_ = Doba_projektu - (TIME - Doba_projektu)“$$

$$„XLWriteArray (\"Název souboru\", \"Název listu\", \"Odkaz na buňky\", Odecet_, 1)“$$

4 VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU ANALYTICKÝM VÝPOČTEM

K validaci bylo použito srovnání výsledků dosažených analytickým výpočtem s výsledky, které byly získány simulací.

V tabulce č. 4.1 jsou znázorněny výsledky analytického řešení s vyznačením kritických činností (jejich celková rezerva CR_{ij} je rovna nule). V tabulce č. 4.2 jsou uvedeny výsledky získané simulací, opět s vyznačením kritických činností.

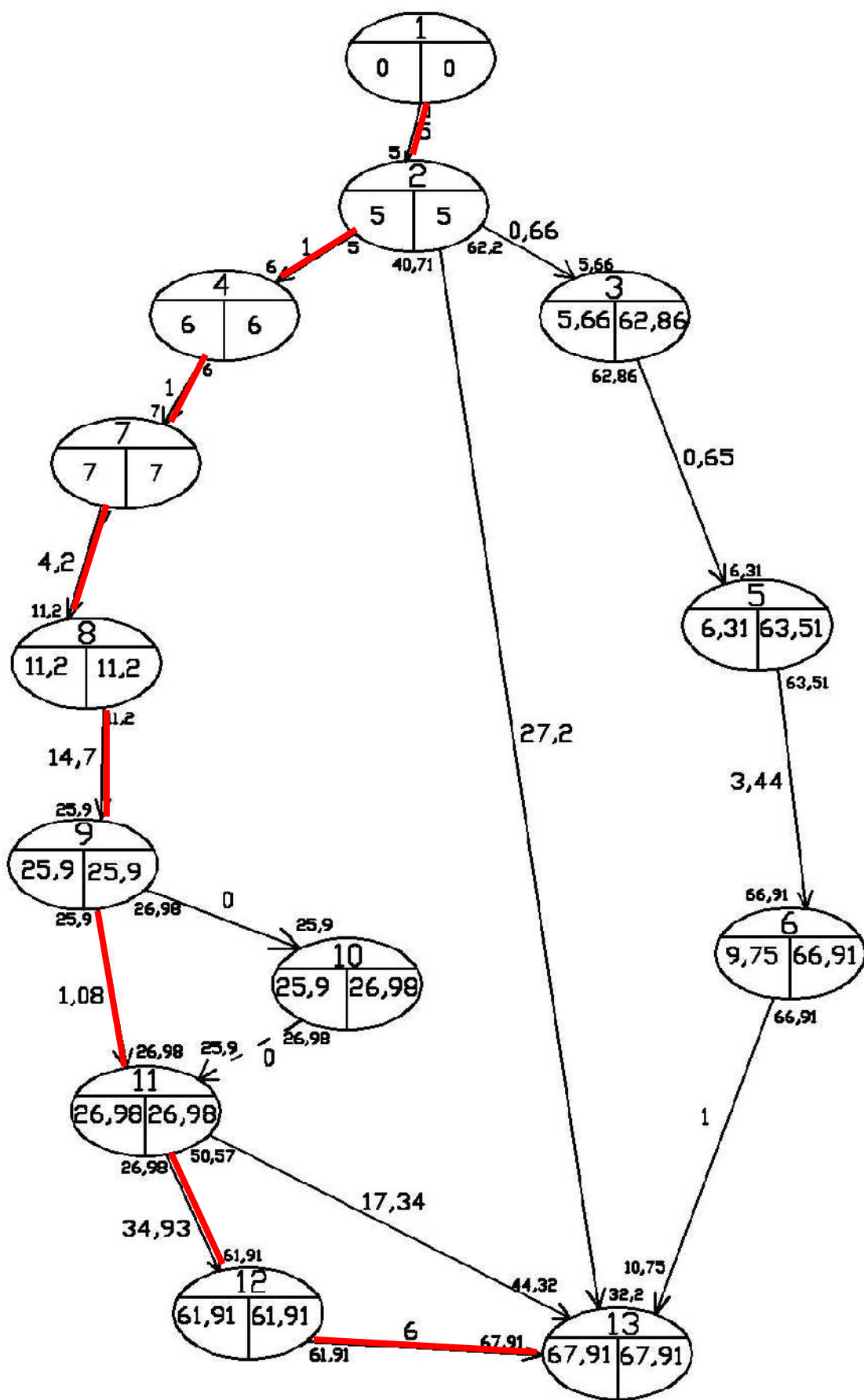
Tab č. 4.1: Výsledky analytického řešení

Tab č. 4.2 Simulační výsledky

označení činnosti	ZM _{ij}	KM _{ij}	ZP _{ij}	KP _{ij}	CR _{ij}	označení činnosti	ZM _{ij}	KM _{ij}	ZP _{ij}	KP _{ij}	CR _{ij}
1-2	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00	1-2	0,00	5,00	0,00	5,00	0,00
2-13	5,00	32,20	40,71	67,91	35,71	2-13	5,00	32,20	40,71	67,91	35,71
2-3	5,00	5,66	62,20	62,86	57,20	2-3	5,00	5,66	62,20	62,86	57,20
3-5	5,66	6,31	62,86	63,51	57,20	3-5	5,66	6,31	62,86	63,51	57,20
5-6	6,31	9,75	63,51	66,91	57,16	5-6	6,31	9,75	63,51	66,91	57,16
6-13	9,75	10,75	66,91	67,91	57,16	6-13	9,75	10,75	66,91	67,91	57,16
2-4	5,00	6,00	5,00	6,00	0,00	2-4	5,00	6,00	5,00	6,00	0,00
4-7	6,00	7,00	6,00	7,00	0,00	4-7	6,00	7,00	6,00	7,00	0,00
7-8	7,00	11,20	7,00	11,20	0,00	7-8	7,00	11,20	7,00	11,20	0,00
8-9	11,20	25,90	11,20	25,90	0,00	8-9	11,20	25,90	11,20	25,90	0,00
9-10	25,90	25,90	26,98	26,98	1,08	9-10	25,90	25,90	26,98	26,98	1,08
9-11	25,90	26,98	25,90	26,98	0,00	9-11	25,90	26,98	25,90	26,98	0,00
11-13	26,98	44,32	50,57	67,91	23,59	11-13	26,98	44,32	50,57	67,91	23,59
11-12	26,98	61,91	26,98	61,91	0,00	11-12	26,98	61,91	26,98	61,91	0,00
12-13	61,91	67,91	61,91	67,91	0,00	12-13	61,91	67,91	61,91	67,91	0,00

Na obrázku č. 4.1 je zobrazen síťový graf, ve kterém byl proveden analytický výpočet kritické cesty. Jednotlivé výsledky byly ručně zapisovány do tabulky (tabulka č. 4.1) pro nadcházející snazší výpočet časových rezerv a tím i kritické cesty.

V tabulce č. 4.3 je provedeno srovnání výsledků získaných simulací s výsledky analytického řešení. Jak je patrné, výsledky se shodují, tudíž validace simulačního modelu byla úspěšná.



Obr. č. 4.1 Analytický výpočet na síťovém grafu

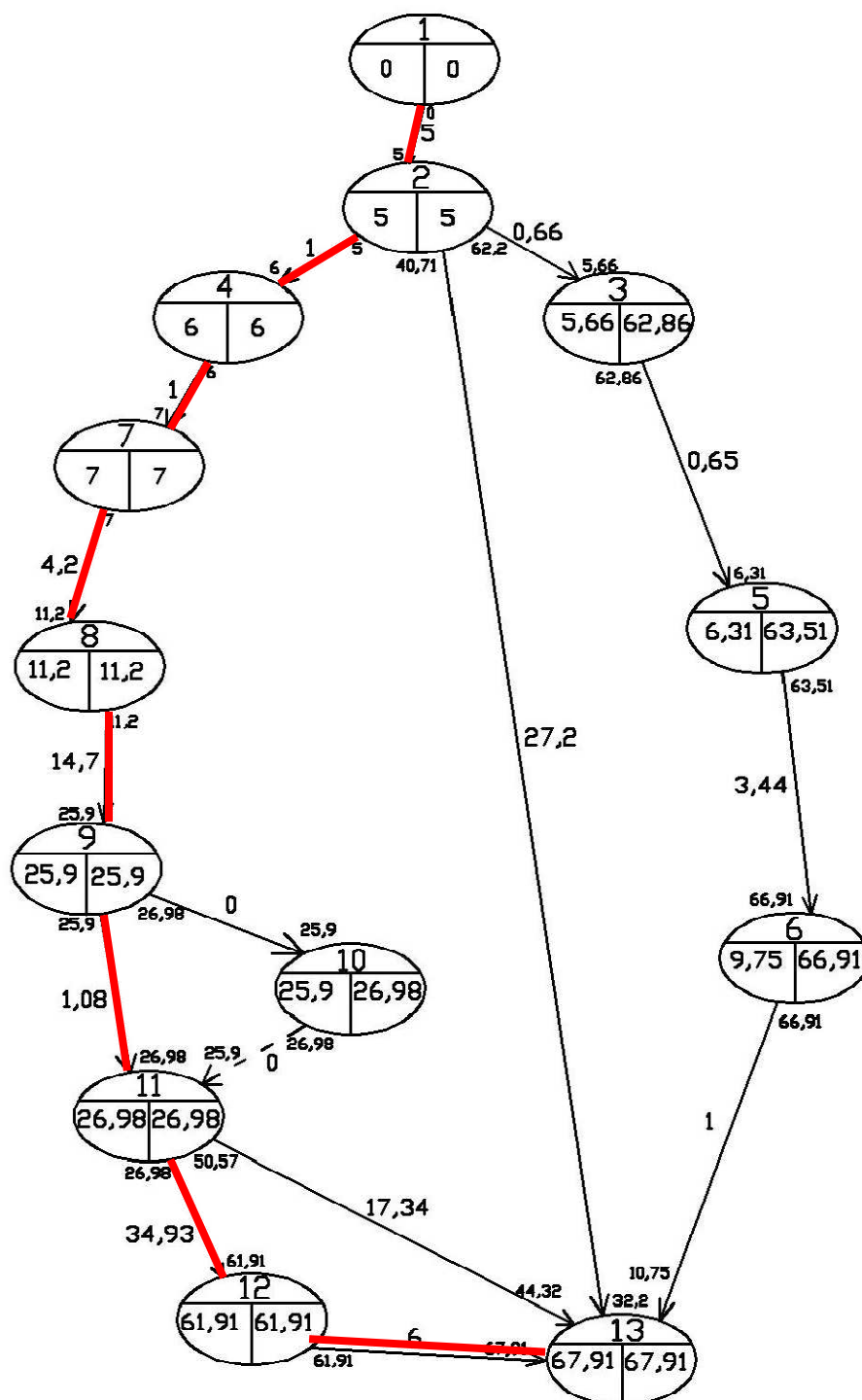
Tab č. 4.3 Srovnání simulačních výsledků s výsledky analytického řešení

Označení činnosti	Pořadové číslo	CR _{ij} - simulace	CR _{ij} - analytický výpočet	Shoda
1-2	1	0,00	0,00	OK
2-13	2	35,71	35,71	OK
2-3	3	57,20	57,20	OK
3-5	4	57,20	57,20	OK
5-6	5	57,16	57,16	OK
6-13	6	57,16	57,16	OK
2-4	7	0,00	0,00	OK
4-7	8	0,00	0,00	OK
7-8	9	0,00	0,00	OK
8-9	10	0,00	0,00	OK
9-10	11	1,08	1,08	OK
9-11	12	0,00	0,00	OK
11-13	13	23,59	23,59	OK
11-12	14	0,00	0,00	OK
12-13	15	0,00	0,00	OK

5 PROVEDENÉ EXPERIMENTY A JEJICH VYHODNOCENÍ

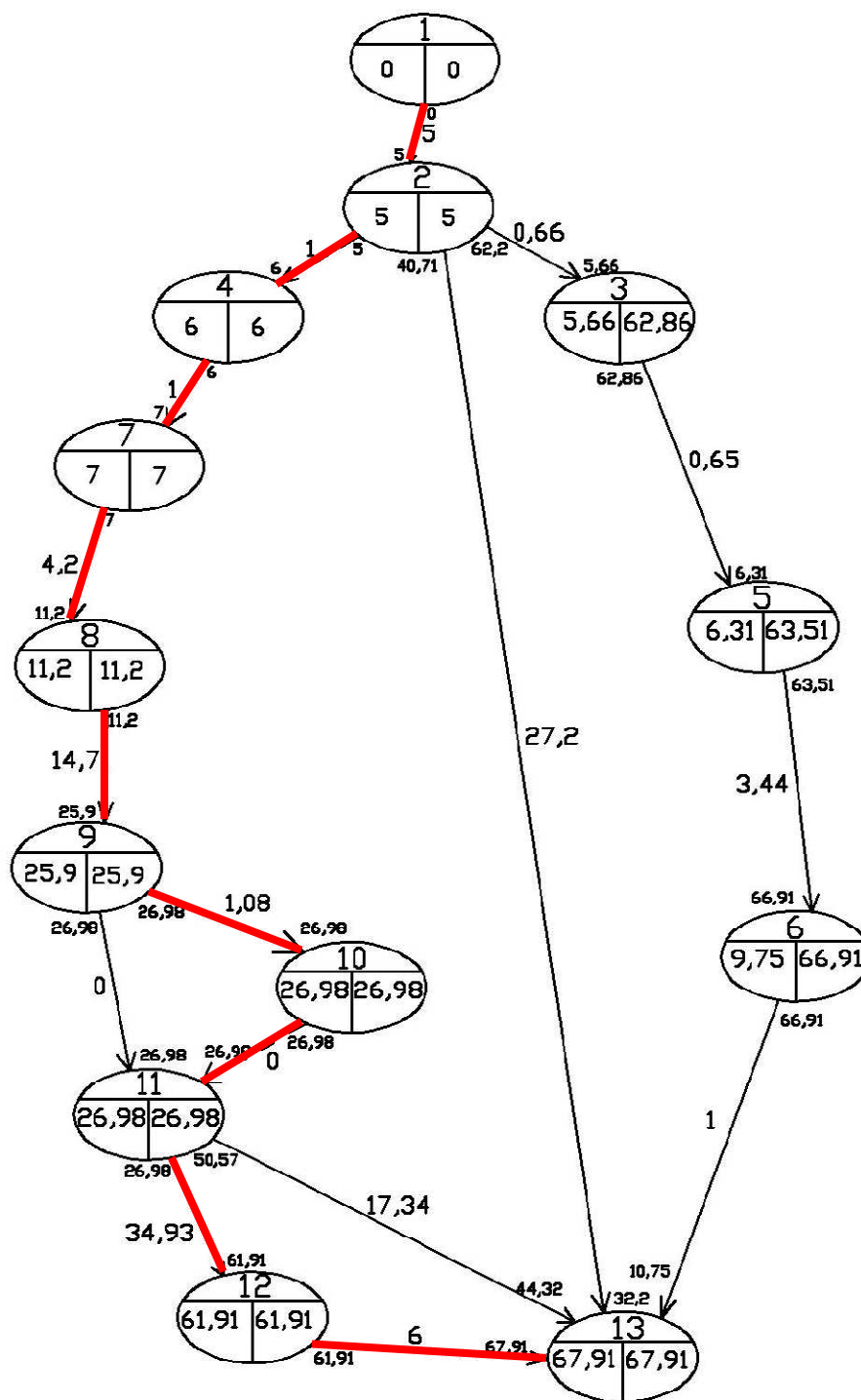
Cílem provádění experimentů je snaha zjistit, za jakých podmínek dojde ke změně kritické cesty. Za tímto účelem byl měněn celkový počet vozů soupravy společně s počtem místních vozů s průvodními listinami a místních vozů bez průvodních listin, počtem vozů ložených a prázdných apod.

Experimenty bylo zjištěno, že na změnu kritické cesty v grafu má vliv jen počet místních vozů s průvodními listinami a počet místních vozů bez průvodních listin. Pouze změnou celkového počtu vozů, případně poměru počtu ložených a prázdných vozů atd. se změny průběhu kritické cesty nedosáhne. Mohou tedy nastat pouze tři případy průběhu kritické cesty, jak je to uvedeno na obrázcích č. 5.1, 5.2 a 5.3.



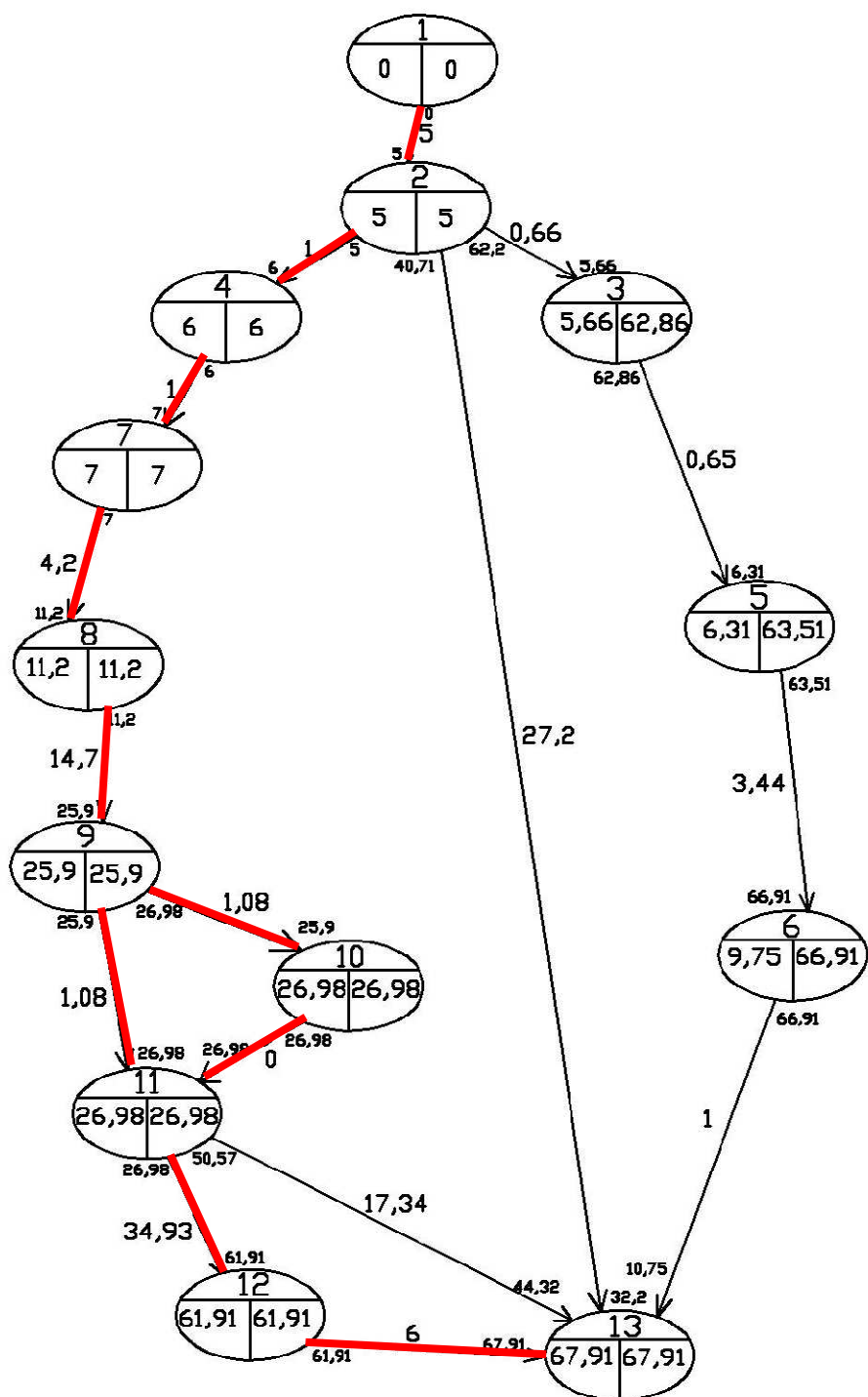
Obr. č. 5.1: Kritická cesta v grafu s převažujícím počtem místních vozů bez průvodních listin

Na obrázku č. 5.1 je v síťovém grafu zaznačena kritická cesta pro případ s převažujícím počtem místních vozů bez průvodních listin, souprava konkrétně obsahuje 0 místních vozů s průvodními listinami a 3 místní vozy bez průvodních listin.



Obr. č. 5.2: Kritická cesta v grafu s převažujícím počtem místních vozů s průvodními listinami

Na obrázku č. 5.2 je v síťovém grafu zaznačena kritická cesta pro případ s převažujícím počtem místních vozů s průvodními listinami, souprava konkrétně obsahuje 3 místní vozy s průvodními listinami a 0 místních vozů bez průvodních listin.



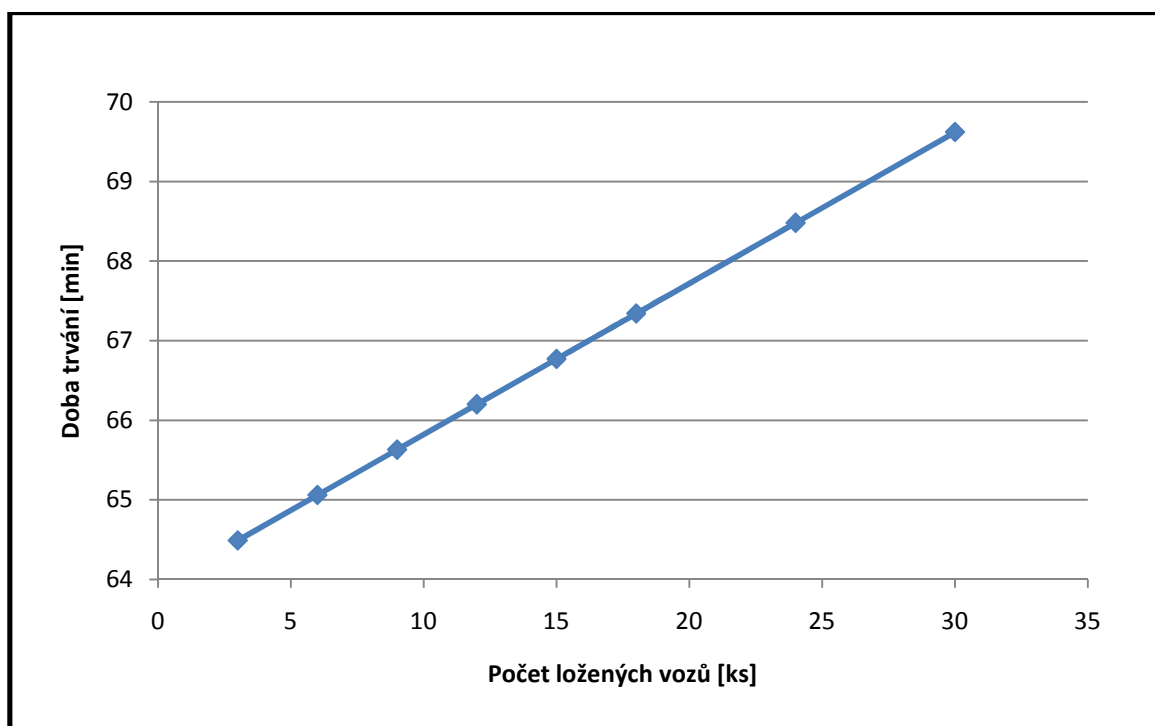
Obr. č. 5.3: Kritická cesta v grafu s totožným počtem místních vozů s průvodními listinami a bez průvodních listin

Na obrázku č. 5.3 je v síťovém grafu zaznačena kritická cesta pro případ s totožným počtem místních vozů bez průvodních listin a místních vozů s průvodními listinami. Souprava konkrétně obsahuje 3 místní vozy s průvodními listinami a 3 místní vozy bez průvodních listin.

Uvažujme soupravu vozů v následujícím složení:

- V soupravě jsou řazeny pouze vozy volného oběhu.
- Budou uvažovány 3 místní vozy, které budou vybaveny průvodními listinami.
- Počet vozů soupravy bude uvažován 34.
- Počet odvěsů bude roven 9.

Při experimentech byl měněn počet ložených vozů. Zároveň byla zapisována celková doba trvání projektu. Z těchto výsledků byl sestaven graf závislosti celkové doby trvání projektu na počtu ložených vozů. Z obrázku č. 5.4 je vidět, že se jedná o rostoucí lineární závislost.

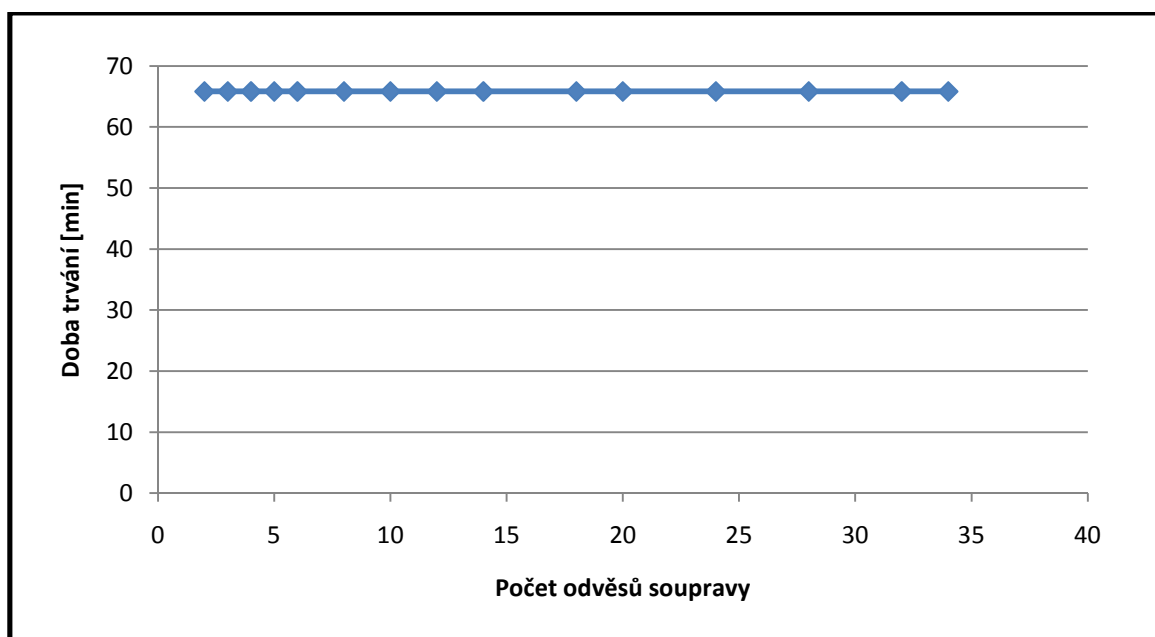


Obr. č. 5.4: Graf závislosti celkové doby trvání projektu na počtu ložených vozů

Uvažujme soupravu vozů v následujícím složení:

- V soupravě jsou řazeny pouze vozy volného oběhu.
- Budou uvažovány 3 místní vozy, které budou vybaveny průvodními listinami.
- Počet vozů soupravy bude uvažován 34, z toho ložených 10 a prázdných 24.

Při experimentech byl měněn počet odvěsů. Zároveň byla zapisována celková doba trvání projektu. Z těchto výsledků byl sestaven graf závislosti celkové doby trvání projektu na počtu odvěsů v soupravě. Na obrázku č. 5.5 je vidět, že se celková doba projektu nemění. Je to dáno tím, že operace, jejíž doba trvání je závislá na počtu odvěsů, neleží na kritické cestě.



Obr. č. 5.5: Graf závislosti celkové doby trvání projektu na počtu odvěsů soupravy

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo sestavit funkční simulační model síťového grafu v prostředí simulačního software Witness a dosažené výsledky posléze porovnat s analytickým výpočtem pomocí vhodné metody, což je Metoda kritické cesty.

Funkční simulační model síťového grafu byl sestaven pro proces přípravy rozřadování souprav železničních vozů ve vjezdové skupině kolejí. Vytvořený model je sestaven obecně, nicméně pro validaci bylo nutno provést simulaci pro konkrétní soupravu. V práci je použita souprava 34 vozů, jejíž rozřadování jsem si prošel v praxi s cílem najít odlišnosti postupu procesu rozřadování uvedeném v odborné literatuře s postupem, který je prováděn ve skutečnosti. K žádným odlišnostem zásadně ovlivňujících tento proces nedošlo.

Model se ve finální fázi skládá ze dvou částí. První částí je přímý průchod, kde se počítají nejdříve možné začátky a ukončení činností. Druhou částí je zpětný průchod sloužící k výpočtu nejpozději přípustných zahájení a ukončení činností. Pro zjednodušení práce se vstupními daty byl Witness provázán s tabulkovým softwarem Excel.

V předložené bakalářské práci jsou dále navržena doporučení pro sestavu simulačního modelu síťového grafu v prostředí Witness. Součástí těchto doporučení je uvedení některých problémů, které mohou nastat při tvorbě simulačního modelu, jejich řešení a kompletní návod, jak postupovat při tvorbě modelu.

Dále byly provedeny experimenty ve snaze zjistit, za jakých podmínek se změní kritická cesta v grafu. Z výsledků bylo zjištěno, že na kritickou cestu v grafu má vliv jen počet místních vozů s průvodními listinami a počet místních vozů bez průvodních listin. Výsledkem těchto experimentů jsou tedy tři možnosti průběhu kritické cesty.

Dále byly provedeny experimenty za účelem zjištění, jaký vliv má počet ložených vozů, resp. počet odvěsů soupravy na celkovou dobu trvání projektu. Bylo zjištěno, že s rostoucím počtem ložených vozů (při dodržení daných předpokladů) celkové trvání projektu lineárně roste. S rostoucím počtem odvěsů (při dodržení daných předpokladů) se celková doba projektu nemění.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FLODR, František. *Dopravní provoz železnic: technologie železničních stanic*. 11878 publikace Bratislava: Alfa Bratislava, April 1990. 320 s. ISBN 80-05-00598-9
- [2] WALTER, J – VEJMOLA, S – FIALA, P. *Aplikace metod síťové analýzy v řízení a plánování*. 1.vyd. Praha: SNTL, 288 s. ISBN 80-03-00101-3
- [3] DANĚK, JAN – TEICHMANN, DUŠAN. *Technologie dopravy IV*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní. Institut dopravy, 2003. 153 s. ISBN 80-248-0490-5
- [4] DANĚK, J.: *Technologie dopravy I*. Ostrava: ČŠB – Technická univerzita Ostrava, 1999, 113 s. ISBN 80-7078-659-0
- [5] Manuály software Witness
- [6] Wikipedia [online]. Poslední revize 10. 4. 2010 [cit.2010-4-18]. Dostupné z:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Critical_path_algorithm.svg
- [7] Zdroje a přeměny energie [online]. Poslední revize 3.7.2006 [cit.2010-4-18]. Dostupné z: <http://aladin.elf.stuba.sk/Katedry/KMECH/slovakversion/Predmety/ELEKTRARNE_I/prednasky/prednaska1/prednaska1.htm>

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Simulační model síťového grafu procesu přípravy k rozřadování soupravy železničních vozů ve vjezdové skupině kolejí – přiloženo na CD.